干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

克里雅河尾闾圆沙三角洲古河道剖面所记录全新世古绿洲环境变化

张　峰[1]，　夏倩倩[2]，　迪丽拜尔·吐尔孙[1]，　刘建宗[1]
（1. 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室，新疆 乌鲁木齐　830046；
2. 伊犁师范大学生物与地科学学院，新疆 伊宁　835000）

摘　要：塔克拉玛干沙漠腹地克里雅河沿岸的古绿洲与人类活动遗迹丰富，伴随着河流的变迁，遗址印记了古代文明的消失，河道成为孕育绿洲的证据。在浩瀚的沙漠中，古代文明与古绿洲属于依附关系。以圆沙古城为代表的圆沙古三角洲绿洲是孕育沙漠文明的典型。采自圆沙古城北侧深度约11 m的沉积剖面（KYN22），光释光测年和沉积学分析结果所示，剖面记录了13.8~2.3 ka时间段内圆沙古三角洲的环境变化：克里雅河全新世大部分时间活动于圆沙一带，早期大致经历了由风沙环境向河流环境的转变过程，13.8 ka至9.0~10.0 ka河流与风沙环境均有出现，中期以来至2.3 ka河流环境稳定。KYN22剖面所示克里雅河在圆沙的活动或为全新世气候变暖的结果。研究工作可为全新世克里雅河与塔里木盆地南缘环境演变研究提供新材料。

关 键 词：塔克拉玛干沙漠；克里雅河；圆沙古城；粒度；光释光测年；全新世
文章编号：

塔克拉玛干沙漠保存了大量数千年来消失在沙漠中的人类文明的遗迹[1-4]。长期以来，吸引了众多学者和探险家历经艰险深入腹地探究[5-7]。沙漠文明则与河流[8-9]和绿洲[10-11]紧密联系。克里雅河是塔克拉玛干沙漠南缘发源于昆仑山的一条河流（图1），其深入沙漠220 km左右，在尾闾形成约324 km^{2}的现代达理雅博依三角洲，发育了荒漠河岸林绿洲[12-14]。在全新世，克里雅河尾闾的三角洲随河道的变迁在沙漠腹地迁移[14-15]，圆沙古三角洲是其中十分典型的一个，并孕育了最早的绿洲城市[16]。圆沙古城与其南北克里雅河流沿岸众多的文化遗存（图1）显示了河道变迁与沙漠古代绿洲文明兴衰之间的密切关系。

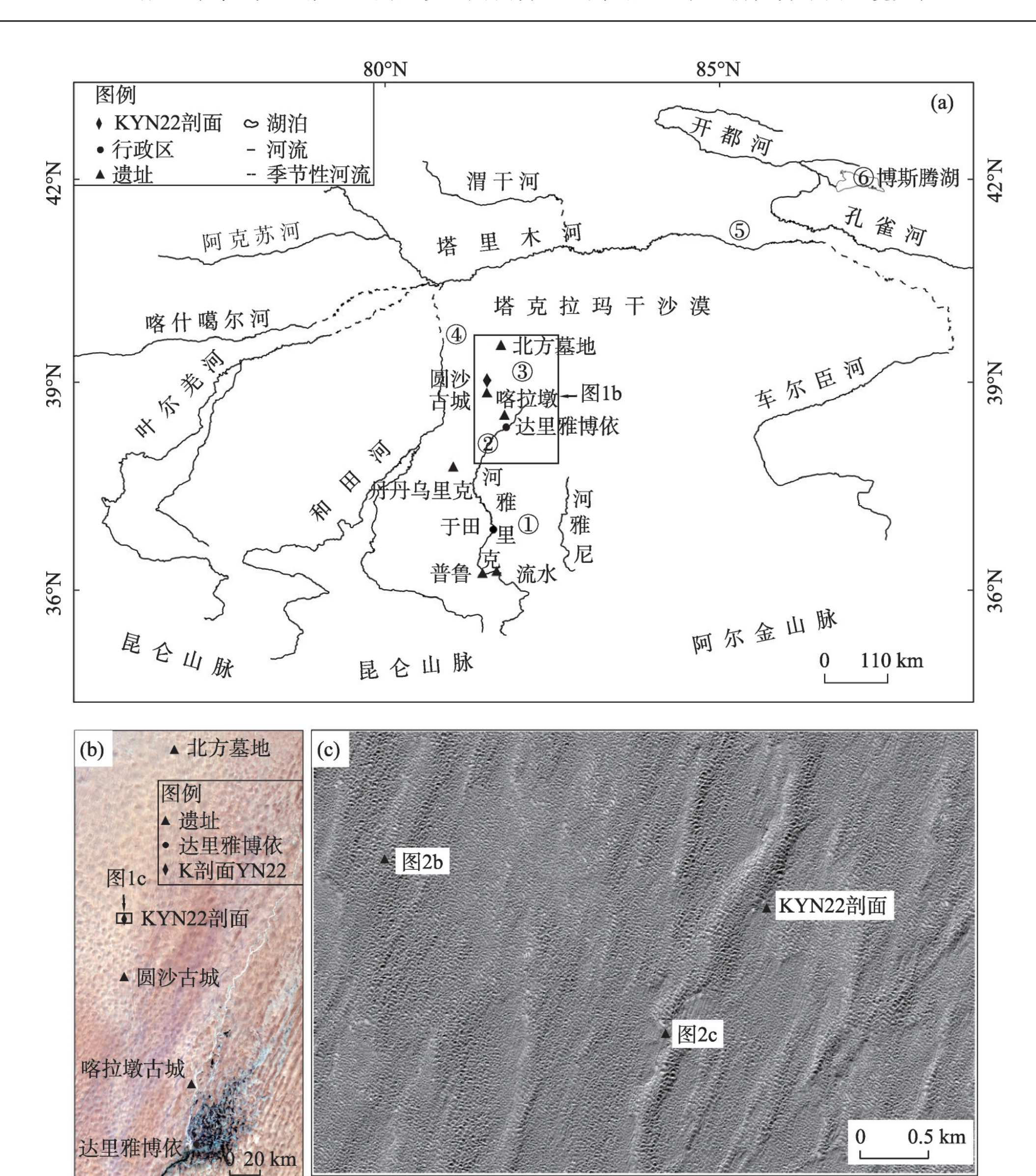
圆沙古城（38°52′N，81°35′E）形成于春秋战国，衰落于东汉至魏晋时期[15-17]。古城历史反映了克里雅河尾闾绿洲演化过程的关键环节[16]。该古城位于目前克里雅河尾闾西北60 km处，说明克里雅河之后向东发生大幅的迁移。克里雅河在圆沙一带是如何变迁的，当时自然环境怎样？作者对圆沙古城北22 km的一处风蚀剖面进行了研究，新测定的剖面沉积物粒度与光释光年龄可为克里雅河与塔克拉玛干沙漠相关环境演变问题提供材料。

1　研究方法与数据来源

1.1　样品采集

KYN22剖面（81°35′E，39°03′N）位于河谷东岸（图2）。剖面顶部遭风蚀，可见残留枯死柽柳，并与其上的流动沙丘不整合接触。据已有年代学数据，河谷约2.3 ka前后被洪水切开[15]，之后河流断流，克里雅河洪水也未曾再到过这里，切开的地层遭到风蚀，河谷底部开始堆积沙丘（图2a）。在谷底与西岸丘间的亚粘土上还可见到碎陶片（图2b），剖面以南还发现古居址和石器（图2c）。

收稿日期：2020-05-22；　**修订日期：**2020-10-24
基金项目：新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2010211A12)；国家自然科学基金项目(U1503381)；新疆维吾尔自治区天山雪松计划(2017XS21)；国家科技基础资源调查专项(2017FY101004)
作者简介：张峰（1973-），男，副教授，自然地理专业，研究方向为干旱区环境演变. E-mail: zhang-f-eng@sohu.com



注：图1a中① 于田阶地剖面[18-19]；② 琼麻扎阶地[18]；③ 克里雅尾闾剖面[20]；④ 和田河断面[21]；⑤塔里木河剖面[22]；⑥博斯腾湖剖面[23]。

图1　塔里木盆地略图（a）、克里雅河下游（Landsat8, RGB-743）（b）、KYN22剖面位置ALOS遥感影像（c）

Fig. 1　Shechted map of Tarim Basin (a), TM remote sensing image (Landsat8, RGB-743) of Keriya River delta (b) and landform around KYN22 section on the ALOS image (c)

KYN22剖面总厚约11 m（图3），自顶部至底部描述如下：

0~25 cm：顶部为厚约10 cm亚粘土（具多个薄层）；其下为15 cm黄色极细沙（具波状交错层，较松散，含枯根）；

25~70 cm：上部为厚约5 cm亚粘土；中部为10 cm细沙（夹2 mm极薄亚粘土层）接10 cm黄灰色粉沙（具有波状交错层）；下部为20 cm粉沙（无明显层理，较紧实）；

70~95 cm：2 cm黄色细沙接3 cm粘土质粉沙；下部为20 cm黄色细沙（夹极薄波状亚粘土层），具波状交错层，较紧实；

95~125 cm：上部15 cm为粘土质粉沙（具波状层）；下部15 cm为粉沙（具波状交错层，较紧实）；

125~230 cm：亚粘土5 cm（见红色根管状孔洞）；下接40 cm粉沙层（由泛黄色过渡为青灰色，中间夹薄层亚粘土，底部见斑杂粘土）；再接10 cm青灰色具波状层的粘土质粉沙与10 cm黄色极细沙，较紧实；

230~330 cm：上部为20 cm亚粘土层接10 cm松散黄色细沙；中部为15 cm青灰色粉沙层接5 cm松散黄色细沙；下部由10 cm灰黄色极细沙过渡至40

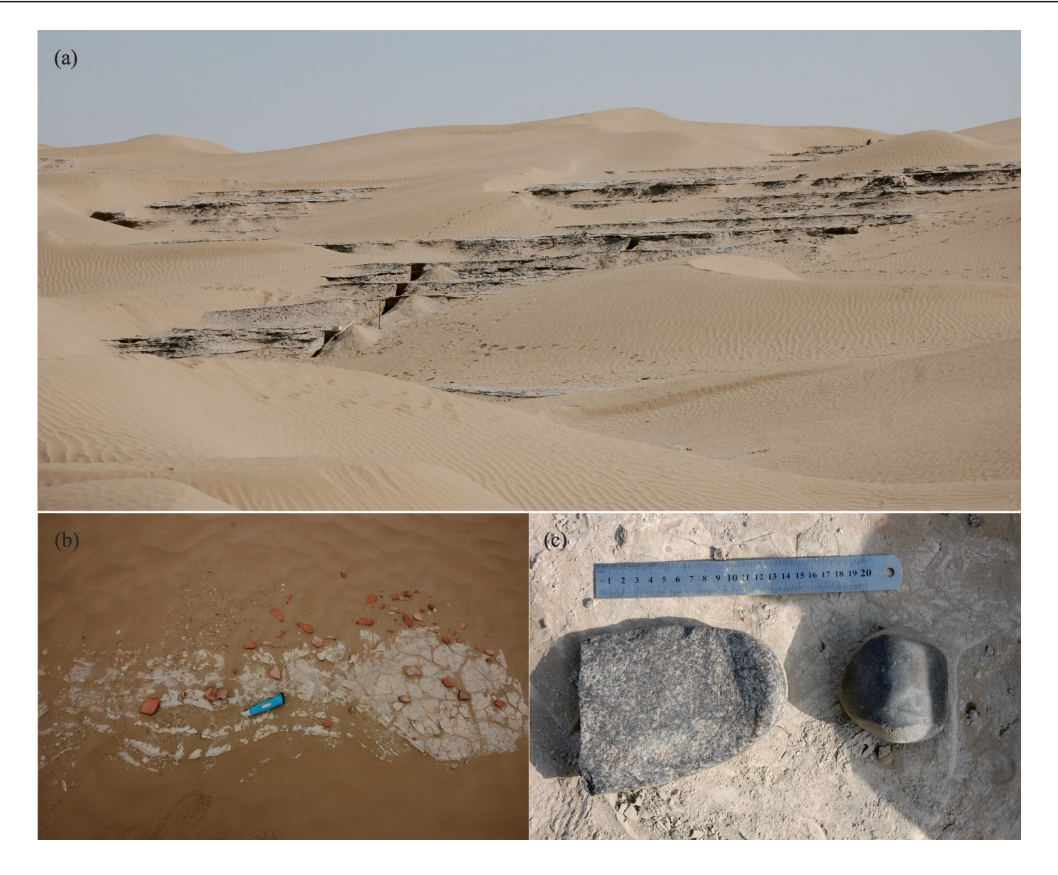


图2 KYN22剖面(a)及其一带的碎陶片(b)和一套石磨具(c)

Fig. 2 KYN22 section (a) and the broken pottery (b) and a set of stone mill in the area (c)

cm青灰色粉沙(夹薄层波状亚粘土),底部见斑杂亚粘土团块,较紧实;

330~430 cm:上部为5 cm亚粘土接20 cm黄色极细沙;中部为20 cm青灰色粉沙(夹波状薄亚粘土)接20 cm灰黄色极细沙(具斑杂亚粘土);下部35 cm可分2个沉积单元,均由厚约1 cm波状亚粘土接灰黄色极细沙(具波状交错层)构成,见少量植物枯根,较紧实;

430~490 cm:上部10 cm粉沙层接50 cm黄色极细沙(具波状交错层),较紧实;

490~550 cm:上部10 cm亚粘土层接10 cm夹多个亚粘土薄层的黄色极细沙;下部40 cm由黄色极细沙(夹青灰色薄层粉沙)过渡为青灰色粉沙,较紧实;

550~610 cm:上部10 cm亚粘土接20 cm黄色极细沙;下部由5 cm亚粘土接25 cm黄色极细沙,波状交错层,较松散;

610~655 cm:上部5 cm亚粘土;下部为40 cm较松散黄色极细沙(具交错和水平层),夹有2层1 cm亚粘土层;

655~755 cm:上部5 cm层状亚粘土,接15 cm黄色极细沙;中部为30 cm黄色极细沙,斜层理,倾角30°,见亚粘土团块;下部50 cm水平黄色极细沙层,见亚粘土团块,较松散;

755~815 cm:上部为10 cm层状亚粘土;下部40 cm黄色极细沙(夹数层波状粘土质粉沙层),经一薄至1 cm亚粘土层与下部10 cm黄色极细沙(具斜层理)隔开,较松散;

815~910 cm:上部为10 cm层状亚粘土接30 cm黄色极细沙(具几近水平的交错层),经2 cm亚粘土与中部25 cm黄色极细沙(夹极薄亚粘土)隔开;下部30 cm黄色极细沙(夹青灰色粉沙),斜层理,较松散;

910~990 cm:表层为近10 cm亚粘土层,接20 cm黄色极细沙(夹0.5 cm薄亚粘土),向下过渡为50 cm青灰色粉沙(2层薄亚粘土),较松散;

990~1040 cm:上层为10 cm多个亚粘土层,接40 cm黄色极细沙(夹多层薄至1 cm平行波状亚粘土);底部为黄色极细沙(间夹2层1 cm厚亚粘土),

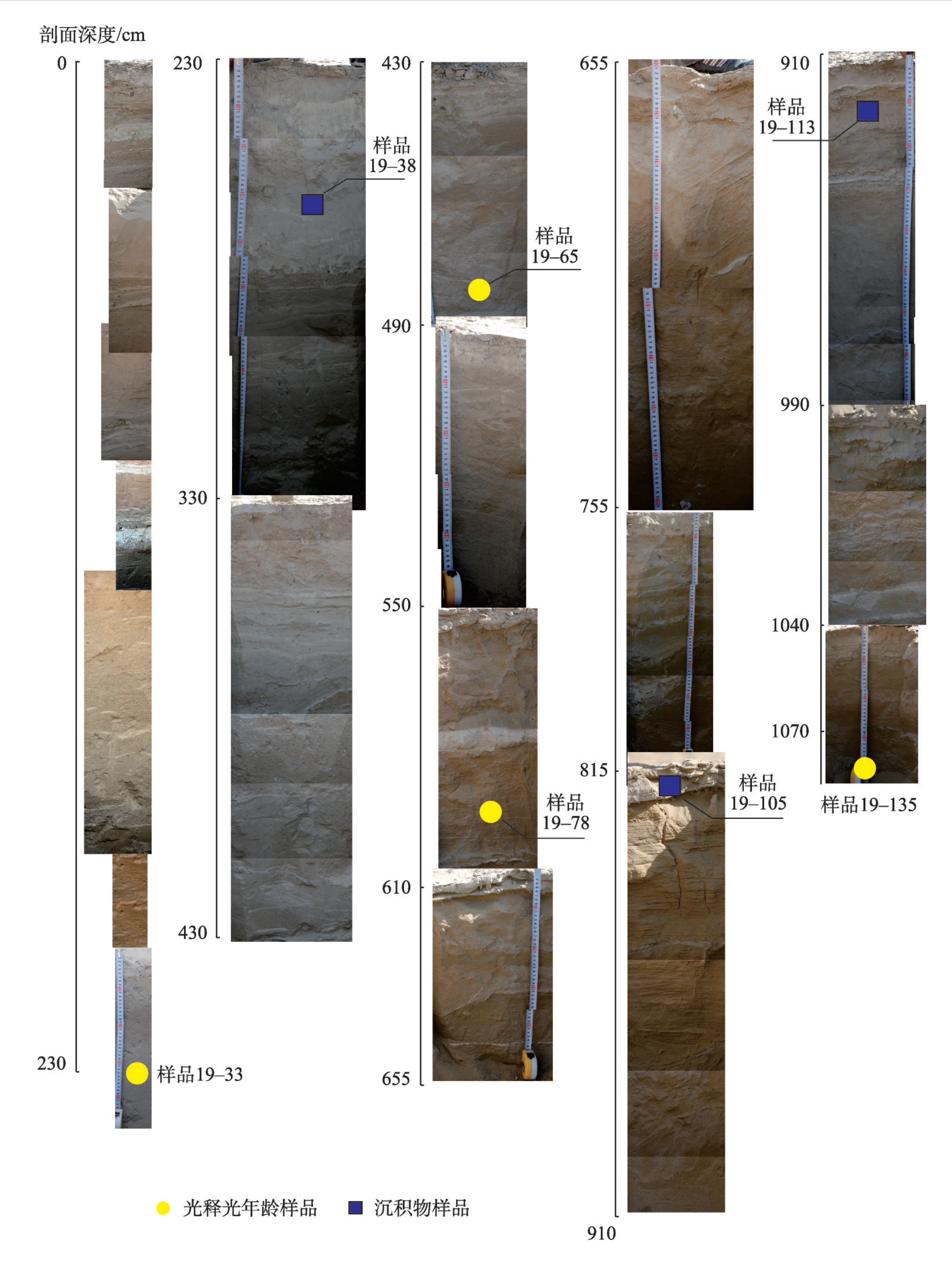


图3　剖面沉积物照片

Fig. 3　Photographs of KYN22 section sediment

较松散；

1040~1070 cm：上层10 cm层状亚粘土接20 cm黄色极细沙（具交错微层理）；底部不整合接触风沙沉积（倾角约20°），较松散。

按沉积物特征逐层采集共134件样品，编号并使用聚乙烯袋封装。分别在深度230 cm，490 cm，590 cm，1070 cm处（野外编号为19-33，19-65，19-78与19-135），剥离50 cm的表层沉积物后，避光条件下用不锈钢套筒在新鲜面水平采取沉积物光释光（OSL）样品，随后用铝箔封口并编号。

1.2　实验方法

在新疆大学绿洲生态重点实验室做粒度测定前处理。称取每件样品约3 g，置入250 mL的锥形瓶中，加入H_2O_2约30 mL反应24 h以除去有机质。样品烘干后加入10 mol·L^{-1}的浓HCl，在通风厨内消煮2 h去除碳酸盐及部分金属矿物等。消煮后使用

去离子水清洗样品至中性。在中国科学院新疆生态与地理研究所使用英国Mastersizer 2000完成粒度测定，测定前做了重复性检验。碎屑粒级根据Uden-Wentworth（标准）划分，按矩值法计算了平均粒径（$\overline{X}$）、分选系数（δ）、偏度（SK）和峰态（K）[24]。

光释光年龄样品送国土资源部地下水矿泉水及环境监测中心光释光实验室（2011年测）。石英在暗室红光下单离，红外激发检测纯度，光释光仪Daybreak 2200（美国）。样品19-33采用细颗粒（8~15 μm）简单多片再生法获得等效剂量值，分布较分散，用饱和指数方法进行拟合。其它3件样品粗颗粒（90~125 μm）单离后用单片再生法测量，预热温度260 ℃，测片辐照使用801E辐照仪（β放射源90 Sr/Y，剂量率约0.103871 Gy·Sec^{-1}）；中子活化法测得铀（U）、钍（Th）、钾（K）含量，宇宙射线的贡献据Prescott和Hutton推荐的数据估计[25]；含水量估算采用（5±1）%，用Fleming方法修正[26]，样品分布比较集中，循环比小于5%。

2 结果与分析

粒度测定结果表明剖面各样品粒度组成以粗沙、中沙与粘土较少；细沙、极细沙和粉沙为多（图4、图5）。粉沙在各样品中平均含量最高，是剖面的众数粒级，其中粉沙含量超过50%的样品达87个，为“基本粒组”；极细沙是剖面的次众数粒级，极细沙含量超过40%的样品有27个；细沙稍少，37件样品中该组分含量超过10%。极细沙与细沙变化趋势一致，但与粉沙相反，粉沙变化趋势则与粘土一致。剖面0~550 cm段各层沉积物粒度总体偏细，以粉沙与极细沙为主，550~1070 cm粒度较上半段整体偏粗，以极细沙与粉沙为主（图5）。

粒度各参数平均粒径介于3.27~6.86 Φ之间，均值4.64 Φ。分选系数变化介于0.54~2.50之间，均值1.21。偏度变化介于-0.30~1.48间，均值0.23。峰态变化介于0.71~1.71之间，均值1.24。

光释光年龄测定结果为：样品19-33（年龄6.4±0.4 ka），样品19-65（年龄9.8±0.6 ka）与样品19-78（年龄10.1±0.5 ka）相距约100 cm，年代相近。剖面底部样品19-135测定结果为13.8±0.6 ka。

3 讨 论

3.1 年代学样品的晒退

样品19-33使用了4~11 μm细颗粒，虽然该组分会在自然环境下导致释光信号晒退不彻底等问题[27]，但河流中的细颗粒易发生悬移[28]，沙漠环境中晒退应较好。样品19-65和19-78沉积相与粒度特征均显示为河流环境沉积，测年所选90~125 μm颗粒可能存在晒退不充分的问题。据结果，样品19-65等效剂量高于其下部的样品19-78，但由于后者环境剂量低于前者而获得了可以接受的结果（表1），二者环境剂量的不同或许是由于矿物组成差异所致。剖面底部样品19-135具有典型的风成特征（图3），而风沙的光释光测定结果往往较好[29]。

3.2 沉积相与粒度

本文KYN22剖面为亚粘土与粉沙或极细沙构成的二元沉积旋迴构成（图5）。亚粘土主要组分为

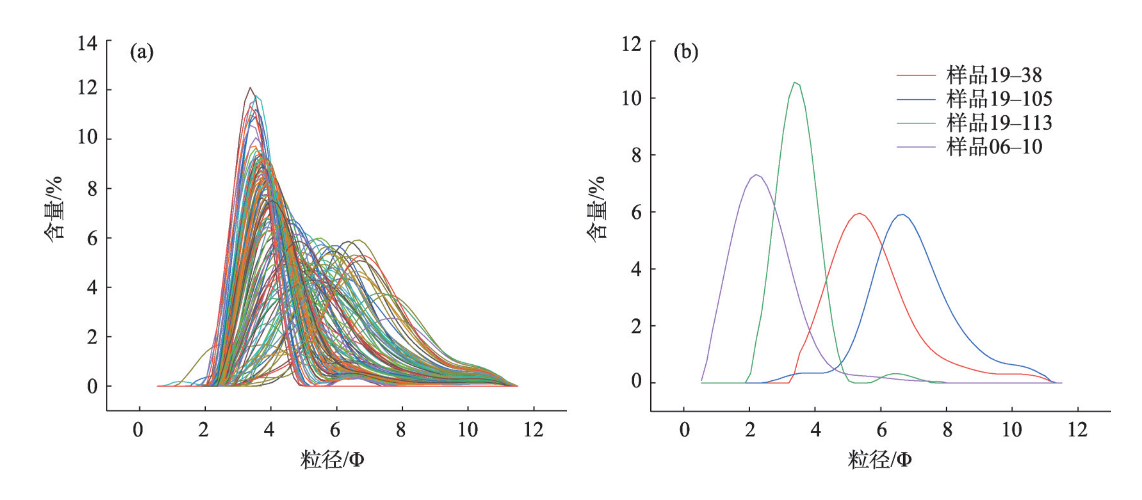


图4 剖面中所有样品(a)及典型河流沉积物(b)与圆沙古城一带风成沙样品沉积物粒度分布曲线

Fig. 4 Grain size distribution curves of total samples (a) and typical sediments (b) in section compare to dune sands

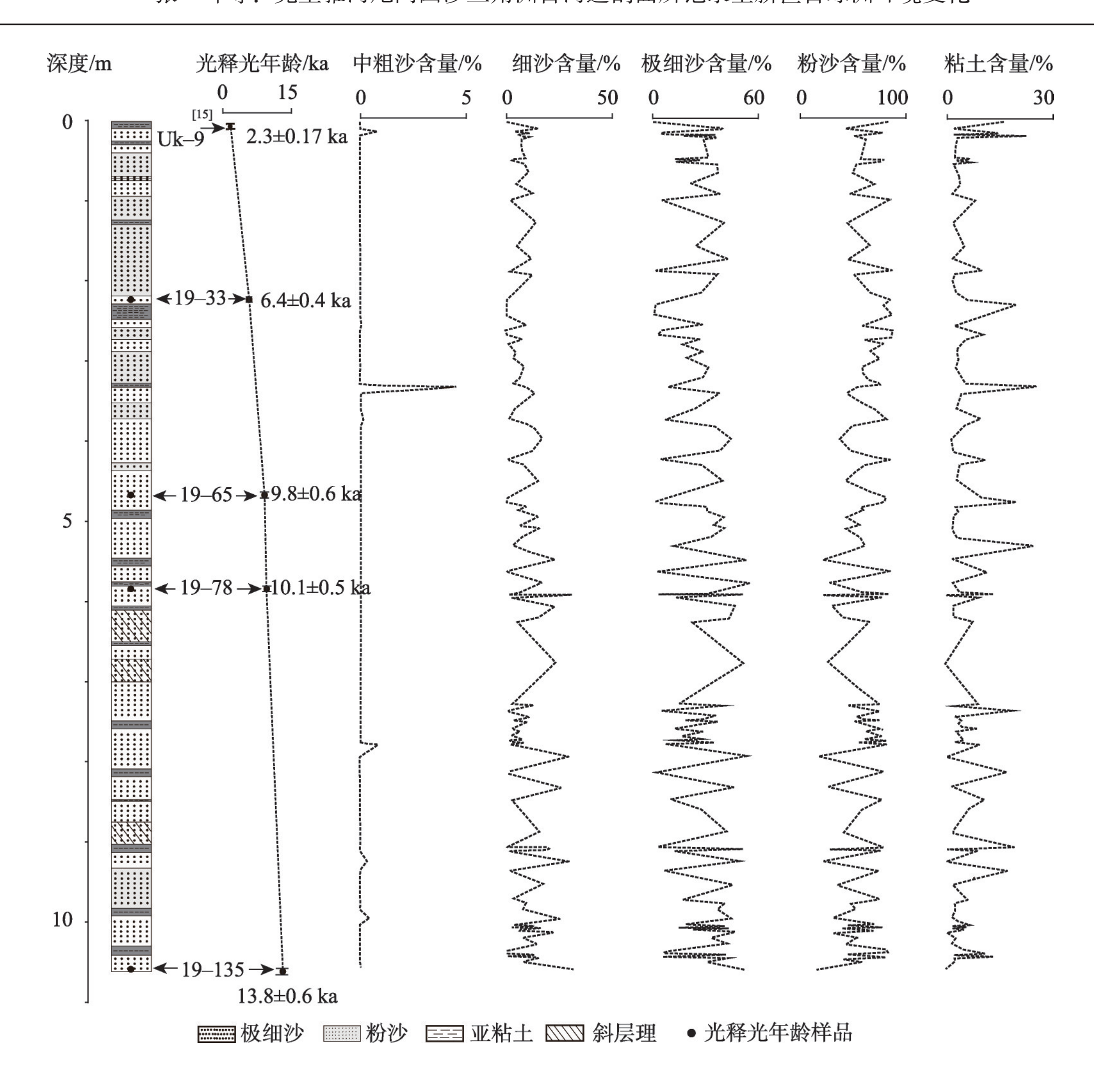


图5　KYN22剖面沉积物粒度组成的百分含量

Fig. 5　Lithology, age-depth relation and sedimentsgrains sizecomposition of the UKN22 section

表1　圆沙KYN22剖面光释光年龄

Tab. 1　Results of the four optical stimulated luminescence samples of Yuansha Paleochannel section

实验室号	野外编号	铀(U)/pp	钍(Th)/ppm	钾(K)/%	等效剂量/Gy	年剂量/Gy·ka⁻¹	光释光年龄/ka	粒径
12009-36	081102-4	2.12±0.008	7.17±0.22	1.80±0.05	6.72±0.45	2.92±0.09	2.30±0.17	文献[15]
11G-230	19-33	1.94	7.10	1.80	21.25±0.87	3.31	6.4±0.4	8~15 μm
11G-231	19-65	2.33	9.62	2.07	34.60±1.65	3.54	9.8±0.6	90~125 μm
11G-232	19-78	2.16	7.53	1.78	30.75±0.91	3.06	10.1±0.5	90~125 μm
11G-233	19-135	2.25	8.86	1.55	40.87±0.56	2.95	13.8±0.6	90~125 μm

注:中国地质科学院光释光实验室测定。

细于4 Φ的粉沙,呈现单众数分布,细于9 Φ的粘土含量并不多,如样品19-105(图4b)。剖面中粉沙最多,部分呈青灰或浅灰色,应该是经历了水下还原过程,如样品19-38(图4b),部分所夹杂薄层粘土,应为径流平缓时形成,一些混杂的粘土团块(图3)则可能为上游冲蚀而下的河床沉积;粉沙粒度曲线细部尾端可见粘土的混入,如样品19-38(图4b)。浅黄色极细沙具有波状的成层特征,粒度分布呈单众数特征,如样品19-113(图4b),与峰态较宽并且细端平缓的当地风成沙样品06-10(图4b)相比,粒度曲线细端可见波状起伏,反映粉沙的混入;其颜色偏黄可能反映了风沙混入的增多且未经过足够的还原。剖面除底部1070~1040 cm与755~655 cm斜层沉积为显著风成之外,其余皆显示河流沉积环

境；910~815 cm上半段虽似风沙，但剖面可见波状层（图3），或为河流在风沙环境下的静水堆积。

根据沉积物的相与粒度特征，可将剖面以550 cm为界分为2部分：（1）1070~550 cm：底部沉积物（图3）显示晚更新世晚期该处曾以风沙活动为主，泛黄色极细沙可能代表了河流流量较小，风沙影响显著。其上约数毫米的薄层粘土出现的频次增多，显示随后河流活动增加，尤其自990~910 cm粒径变细，沉积物由泛黄色转为灰色，显示河水曾一度占据河道；910~815 cm近乎水平的波状交错层，浅黄色极细沙转多，显示周围的风沙环境，之后815~755 cm极细沙与粉沙互层增多，洪流增多；至755~550 cm，极细沙增多，其中655~610 cm沉积物斜层理走向与其下部沉积层近乎垂直（图3），应该是后期叠置在河床上的曲流沉积，而755~655 cm阶段河床上还曾一度堆积风沙（图3），亦说明当时河流流量较小，这些特征均表明该时段剖面受到风沙与河流活动的交替影响。（2）550~0 cm：剖面多见青灰色沉积物，以粉沙为主（图5），应为泛洪堆积。剖面沉积物局部仍呈泛黄色，并多含极细沙，但具波状成层特征（图3），或为风沙进入河流且未经过长期还原过程；剖面240~25 cm段沉积尤为紧实，虽或存在冲刷不整合，但可以认为该时段（6.4 ka以来）河流环境稳定。

3.3 沉积记录与河道变迁

克里雅河现今只有季节性洪水才能够到达尾闾的达理雅博依，正常径流只能流到达理雅博依以南60 km的米萨来一带[30]。KYN22剖面位于达理雅博依以北100 km处，至少说明了在强烈渗透和蒸发条件下，河流具有足够水量到达这里。尽管KYN22剖面仅限克里雅河尾闾局部，但却证明克里雅河曾于全新世2.3 ka之前在圆沙一带活动，而具有环境意义。

KYN22剖面底部光释光年代约13.8 ka，大致位于晚更新世末与全新世初，与圆沙以东约50 km处（38°58′N，81°59′E）古河道剖面[20]有比较好的对应（图6）。该剖面高约10 m，其底部^{14}C年龄大致在13041±98 a BP，二者厚度也基本一致，并且底部均为风成堆积，显示当时克里雅河尾闾处于风沙环境。大致在此后，克里雅河在上游于田一带形成一处高阶地[19]，相邻和田河麻扎塔格现代河岸以东2 km约12441±107 a BP形成一处堤[21]，显示发生了洪泛事件，可见全新世早期，克里雅河下游经历了由风沙环境向河流环境的转变过程。KYN22剖面的

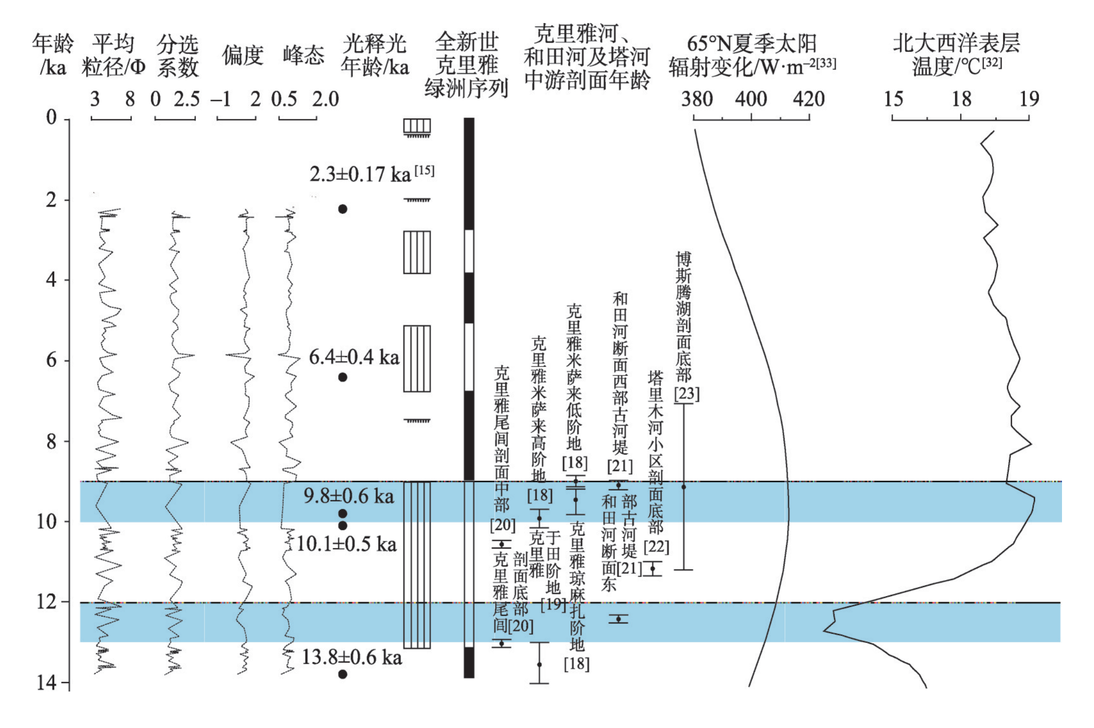


图6 KYN22剖面粒度参数与全新世早期克里雅河绿洲发育及塔里木盆地洪水活动记录

Fig. 6 Particle size parameter of KYN22 Section, development of Keriya River oasis and record of flood activity in Tarim Basin in early Holocene

开始堆积在塔里木盆地或非偶然，冯起等[22]在塔里木河中游一带所测得风蚀古河道剖面底部^{14}C年龄也在约12860±230 a BP，全新世早期塔里木盆地各河流或许迎来了一个洪水频发的时段。KYN22剖面490 cm与590 cm处深度相距1 m，获得的光释光年龄大致相近，均在10.0 ka前后，但沉积物特征差别显著。同时期克里雅河在琼麻扎形成阶地[18]，相邻的和田河在麻扎塔格12441±107 a BP洪泛堤以西约1 km处，形成一处相对较小的沙堤[21]，暗示全新世塔里木盆地南缘河流活动的增强，这也与博斯腾湖剖面开始堆积的时间[23]接近。

塔里木盆地南缘河流活动的增强或与昆仑山冰川的融化相关[15,31]。13.8 ka前后克里雅河下游河流活动可能是由于全新世北半球气温的变暖[32]释放了之前积累的冰量引起。9.0~10.0 ka前后北半球气温变化虽不十分显著，但这一时期太阳辐射明显增强[33]（图6），并也可能引起冰川消融[34]，KYN22剖面所记录该时期克里雅河的活动或许与此有关。

4 结 论

塔里木盆地古环境与古绿洲演变研究具有重要意义，本文在前人工作较少的克里雅河尾闾圆沙古城以北获得了约11 m深的KYN22剖面，通过光释光年龄测定结合沉积相和粒度分析揭示了该区域晚更新世末以来的自然环境变化。研究发现，KYN22剖面主要为河流沉积而成，全新世克里雅河在其下游曾主要活动于圆沙一带。全新世早期经历了由风沙环境向河流环境的转变过程，其中，13.8 ka前后以风沙活动为主，同时风沙环境特征显著，9.0~10.0 ka前后出现间歇性洪水；全新世中至后期为稳定的河流环境。KYN22剖面所记录的约13.8 ka和9.0~10.0 ka前后的河流活动或反映了因气候变暖及太阳辐射增强所致的昆仑山冰雪融水的增多。由于早期碳年龄测定对碳库效应考虑较少，数据可靠性受到影响，本文提供了可参考光释光年龄的较完整全新世沉积序列，可为塔克拉玛干沙漠的演化与环境变迁研究提供基础数据。

致谢：中国科学院新疆生态与地理研究所周兴佳研究员做了指导，中国地质科学院水文地质环境地质研究所赵华研究员和王承敏工程师承担了光释光年龄样品的测定和分析，两位评审人提供了修改建议，特表感谢！

参考文献（References）

[1] 樊自立. 塔里木盆地绿洲形成与演变[J]. 地理学报, 1993, 48(5): 421-427. [Fan Zili. A study on the formation and evolution of oases in Tarim Basin[J]. Acta Geographica Sinica, 1993, 48(5): 421-427.]

[2] 黄盛璋. 论绿洲研究与绿洲学[J]. 中国历史地理论丛, 1990(2): 1-24. [Huang Shengzhang. A discussion on oasis research and oasis studies[J]. Journal of Chinese Historical Geography, 1990(2): 1-24.]

[3] 钟巍, 熊黑钢. 塔里木盆地南缘4 ka BP以来气候环境演化与古城镇废弃事件关系研究[J]. 中国沙漠, 1999, 19(4): 343-347. [Zhong Wei, Xiong Heigang. Paleo-climatic and environmental development since about 4 ka BP and the relation with abandonments of ancient cities in southern Xinjiang[J]. Journal of Desert Research, 1999, 19(4): 343-347.]

[4] 张磊, 秦小光, 许冰, 等. 楼兰地区新发现斗检封及其指示意义[J]. 干旱区地理, 2018, 41(3): 545-552. [Zhang Lei, Qin Xiaoguang, Xu Bing, et al. A new discovered hopper seal (Dou Jian Feng) in Loulan area and its significance[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(3): 545-552.]

[5] Hedin S A. Through Asia[M]. New York: Harper and Brothers, 1898: 788-805.

[6] Stein M A. Ancient Khotan: Detailed report of archaeological explorations in Chinese Turkestan[M]. Oxford: Clarendon Press, 1907: 485-494.

[7] 黄文弼. 塔里木盆地考古记[M]. 北京: 科学出版社, 1958: 49-51. [Huang Wenbi. Archaeological records in the Tarim Basin[M]. Beijing: Science Press, 1958: 49-51.]

[8] 李生宇, 谷峰, 王海峰, 等. 塔克拉玛干沙漠河湖相沉积平原风蚀地貌发育的外营力作用机制[J]. 干旱区地理, 2012, 35(3): 358-364. [Li Shengyu, Gu Feng, Wang Haifeng, et al. Exogenic forces action mechanism in the development process of erosion landform on alluvial plains composed of fluvial-lacustrine deposits in the Taklimakan Desert[J]. Arid Land Geography, 2012, 35(3): 358-364.]

[9] 林永崇, 穆桂金, 秦小光, 等. 地表风化作用对楼兰地区雅丹地貌发育的影响[J]. 干旱区地理, 2018, 41(6): 1278-1284. [Lin Yongchong, Mu Guijin, Qin Xiaoguang, et al. Weathering impact on the development of Yardang landforms in Loulan region[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(6): 1278-1284.]

[10] 穆桂金, 贺俊霞, 雷加强, 等. 再议绿洲-沙漠过渡带——以策勒绿洲-沙漠过渡带为例[J]. 干旱区地理, 2013, 36(2): 195-202. [Mu Guijin, He Junxia, Lei Jiaqiang, et al. A discussion on the transitional zone from oasis to sandy desert: A case study at Cele Oasis[J]. Arid Land Geography, 2013, 36(2): 195-202.]

[11] 杨发相, 李生宇, 岳健, 等. 新疆荒漠类型特征及其保护利用[J]. 干旱区地理, 2019, 42(1): 12-19. [Yang Faxiang, Li Shengyu, Yue Jian, et al. Characteristics of desert types and their protection and utilization in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(1): 12-19.]

[12] 朱震达, 陆锦华, 江伟铮, 等. 塔克拉玛干沙漠克里雅河下游地区风沙地貌的形成发育与环境变化趋势的初步研究[J]. 中国沙漠, 1988, 8(2): 1-10. [Zhu Zhenda, Lu Jinhua, Jiang Weizheng, et al. Study on formation and development of aeolian landform and trend of environmental change at lower reach of the Keriya River, Taklimakan Desert[J]. Journal of Desert Research, 1988, 8(2): 1-10.]

[13] 周兴佳, 朱峰, 李世全, 等. 克里雅河绿洲的形成与演变[J]. 第四纪研究, 1994(3): 249-255. [Zhou Xingjia, Zhu Feng, Li Shiquan, et al. The formation and evolution of oasis in the Keriya River Valley[J]. Quaternary Sciences, 1994(3): 249-255.]

[14] Yang X P. The oases along the Keriya River in the Taklamakan Desert, China, and their evolution since the end of the Last Glaciation[J]. Environmental Geology, 2001, 41(3-4): 314-320.

[15] 张峰, 王涛, 海米提·依米提, 等. 2.7~1.6 ka BP塔克拉玛干沙漠腹地克里雅河尾闾绿洲的变迁[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(10): 1495-1504. [Zhang Feng, Wang Tao, Hamid Yimit, et al. Hydrological changes and settlement migrations in the Keriya River delta in central Tarim Basin ca. 2.7-1.6 ka BP: Inferred from ^{14}C and OSL chronology[J]. Science China: Earth Sciences, 2011, 41(10): 1495-1504.]

[16] 伊弟利斯·阿不都热苏勒, 高亨娜·迪班娜·法兰克福, 刘国瑞, 等. 新疆克里雅河流域考古调查概述[J]. 考古, 1998(12): 28-37. [Idris Abdurusul, Falankefu G D, Liu Guorui, et al. Summaries of the archaeological investigation along the Keriya River in Xinjiang[J]. Archaeology, 1998(12): 28-37.]

[17] 夏倩倩, 张峰. 塔克拉玛干沙漠腹地克里雅河尾闾圆沙三角洲AMS ^{14}C年代学测定及相关历史地理问题刍议[J]. 第四纪研究, 2016, 36(5): 1280-1292. [Xia Qianqian, Zhang Feng. AMS ^{14}C dating and related historical geography question proposal at the Yuansha Delta in the central Taklamakan Desert[J]. Quaternary Sciences, 2016, 36(5): 1280-1292.]

[18] 曹琼英, 夏训诚. 新疆克里雅河下游地貌与第四纪地质的初步研究[J]. 地理科学, 1992, 12(1): 34-43. [Cao Qiongying, Xia Xuncheng. A preliminary study on the geomorphology and Quaternary geology in the lower reaches of the Keliya River[J]. Scientia Geographica Sinica, 1992, 12(1): 34-43.]

[19] Li B S, Zhang D D, Zhou X J, et al. Study of sediments in the Yutian-Hotan Oasis, south Xinjiang, China[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2002(2): 221-228.

[20] 靳鹤龄, 董光荣, 金炯, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地晚冰期以来的环境与气候变化[J]. 中国沙漠, 1994, 14(3): 31-37. [Jin Heling, Dong Guangrong, Jin Jiong, et al. Environmental and climatic changes in the interior of Taklimakan Desert since Late Glacial Age[J]. Journal of Desert Research, 1994, 14(3): 31-37.]

[21] 靳鹤龄, 董光荣. 试论干旱区河流在沙漠地貌发育中的作用——以塔克拉玛干沙漠和田河流域为例[J]. 中国沙漠, 2001, 21(4): 367-373. [Jin Heling, Dong Guangrong. Preliminary study on the role of river wriggling in the evolution of aeolian landform in arid region: Taking Hotan River as an example[J]. Journal of Desert Research, 2001, 21(4): 367-373.]

[22] 冯起, 苏志珠, 金会军, 等. 塔里木河流域12 ka BP以来沙漠演化与气候变化研究[J]. 中国科学: D辑, 1999, 29(1): 87-96. [Feng Qi, Su Zhizhu, Jin Huijun, et al. Desert evolution and climate changes in the Tarim River since 12 ka BP[J]. Science China: Series D, 1999, 29(1): 87-96.]

[23] 陈发虎, 黄小忠, 杨美临, 等. 亚洲中部干旱区全新世气候变化的西风模式——以新疆博斯腾湖记录为例[J]. 第四纪研究, 2006, 26(6): 881-887. [Chen Fahu, Huang Xiaozhong, Yang Meilin, et al. Westerly dominated Holocene climate model in arid central Asia: Case study on Bosten Lake, Xinjiang[J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(6): 881-887.]

[24] Friedman G M, Sanders J E. Properties of sedimentary particles [M]. New York: John Wiley and Sons, 1978: 58-70.

[25] Prescott J R, Hutton J T. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations[J]. Radiation Measurements, 1994, 23(2-3): 497-500.

[26] Prescott J R, Robertson G B. Sediment dating by luminescence: A review[J]. Radiation Measurements, 1997, 27(5-6): 893-922.

[27] Lai Z P. Chronology and the upper dating limit for loess samples from Luochuan section in the Chinese Loess Plateau using quartz OSL SAR protocol[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 37 (2): 176-185.

[28] Sundborg A. The River Klaralven: A study of fluvial processes[J]. Geografiska Annaler, 1956, 38(3): 238.

[29] Stokes S, Bailey R M, Fedoroff N, et al. Optical dating of aeolian dynamism on the west African Sahelian margin[J]. Geomorphology, 2004, 59(1/4): 281-291.

[30] 周兴佳, 李保生, 朱峰, 等. 南疆克里雅河绿洲发育和演化过程研究[J]. 云南地理环境研究, 1996, 8(2): 44-57. [Zhou Xingjia, Li Baosheng, Zhu Feng, et al. The research on the development and evolution of the oasis of Keria River in the Tarim Basin of Xinjiang[J]. Yunnan Geographic Environment Research, 1996, 8(2): 44-57.]

[31] An P, Yu L P, Wang Y X, et al. Holocene incisions and flood activities of the Keriya River, NW margin of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2019, 191: 104-224.

[32] Thornalley D J R, Elderfield H, McCave I N. Holocene oscillations in temperature and salinity of the surface subpolar North Atlantic. [J]. Nature, 2009, 457(7230): 711-714

[33] Berger A, Loutre M F. Insolation values for the climate of the last 10 million years[J]. Quaternary Science Review, 1991, 10(4): 297-317.

[34] 施雅风, 赵井东. 40~30 ka BP中国特殊暖湿气候与环境的发现与研究过程的回顾[J]. 冰川冻土, 2009, 31(1): 1-10. [Shi Yafeng, Zhao Jingdong. The special warm-humid climate and environment in China during 40-30 ka BP: Discovery and review[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31(1): 1-10.]

Holocene hydrology and environment changes in the Keriya River Delta in 13.8−2.3 ka in Taklimakan Desert: Inferred from the stratigraphy

ZHANG Feng[1], XIA Qianqian[2], Dilibaier Tuersun[1], LIU Jianzong[1]

(1. Xinjiang University, Key Laboratory of Oasis Ministry of Education, Urumqi 830046, Xinjiang, China;

2. School of Biologic and Geographic Sciences, Yili Normal University, Yining 835000, Xinjiang, China)

Abstract: In the Tarim Basin, the Taklimakan Desert is the second largest shifting dune globally. Holocene relic sites in the desert hinterland suggested ancient rivers flowing, oasis occupation, and human activities. The Keriya River is one of the rivers that originated from the glacier mountains of south Tarim Basin. The Yuansha Site is the earliest city in the Taklimakan Desert, located in the delta area of the Keriya River and provided an ideal case for illustrating the relationship between the natural environment and human activities. To better understand this area’s past environment, we selected the KYN22 section (22 km from north of the Yuansha Site) and 134 grain size samples in the section from each depth for particle size distribution measurement and grain size parameter calculation. We collected four OSL chronology samples from the depth of 230 cm, 490 cm, 590 cm, and 1070 cm, respectively. The measurement results showed the following. (1) The main components of sediment samples are silt and very fine sand. (2) The grain size median diameter, sorting coefficient, skewness, and kurtosis changed at approximately 3.27−6.86 Φ, 0.54−2.50 Φ, −0.30−1.48 Φ, and 0.71−1.71 Φ, respectively. (3) The OSL age measurement results are 6.4±0.4 ka, 9.8±0.6 ka, 10.1±0.5 ka, and 13.8±0.6 ka from the upper part to the bottom of the section, respectively. (4) The very fine sand content variation is consistent with that of fine sand and opposite with silt sand with depth increase, whereas the silty sand variation content is consistent with mild clay samples. (5) The sediment grains in the 0 to 550 cm depth composed mainly of silt, followed by very fine sand. In contrast, the sediment grains in the 550 to 1070 cm depth composed of very fine sand as the main content, and silt is the minor content. A reported OSL age (2.3 ka) at the upper layer of the section suggests that the KYN22 section recorded past environmental and landform changes of the Yuansha Delta in 13.8−2.3 ka. The section is mainly for fluvial activities, indicating that the Keriya River dominated this area most of the Holocene. The sediment sequence indicates the domination of aeolian activity at approximately 13.8 ka in earlier Holocene and the fluvial and aeolian activity in 9.8−10.1 ka; thus, fluvial activity controls from the middle to the late Holocene. The OSL age (13.8 ka) of the aeolian sand section bottom was followed with the formation of a paleochannel section at approximately 50 km east of the Yuansha and the high terrace formed in the upper reaches of the Keriya River, suggesting flooding events frequently occurred in the Tarim Basin’s south margin. The fluvial sediment deposited in 9.8−10.1 ka was coeval with the increase of northern hemisphere solar radiation and temperature rising, suggesting increasing melt water in the Kunlun Mountains. This study provides a relatively complete Holocene sediment sequence recorded with reliable chronology data at the Keriya River’s lower reaches. For oasis’ prosperity and inhabitants’ activities depending on the river, this section recorded the natural environment and the rise and fall of ancient civilization in the Keriya River delta.

Key words: Taklimakan Desert; Keriya River; Yuansha City; particle size; OSL dating; Holocene